

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Nomenklatur</b> .....	<b>xv</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen und Technik der Brenngaserzeugung</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Brenngaserzeugung aus Diesel</b> .....	<b>9</b>
2.1.1 Brenngasanforderungen für Polymer-Membran-Brennstoffzellen (PEFC) .....	9
2.1.2 Wasserstofferzeugung aus Kohlenwasserstoffen .....	10
2.1.3 Verfahren zur Reduktion des Kohlenmonoxidgehalts .....	13
<b>2.2 Brenngaserzeugungssystem</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 Autothermer Reformier ATR-5 .....	16
<b>2.3 Dieselkraftstoff</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Definition .....	19
2.3.2 Spezifische Eigenschaften der Dieselkraftstoffe .....	20
2.3.3 Untersuchungen von Kraftstoffen mittels fraktionierter Destillation .....	23
2.3.4 Zusammenfassung .....	27
<b>2.4 Exotherme Vorreaktion</b> .....	<b>29</b>
2.4.1 Vorreaktion im Reaktor ATR-5A .....	29
2.4.2 Kalte Flamme .....	29
2.4.3 Modellreaktionen .....	33
<b>2.5 Eduktvorbereitung und Gemischbildung</b> .....	<b>36</b>
2.5.1 Stand der Technik .....	36
<b>2.6 Rußbildung und Bildung von kohlenstoffhaltigen Ablagerungen</b> .....	<b>41</b>
2.6.1 Allgemeine Erkenntnisse .....	41
2.6.2 Bildung von kohlenstoffhaltigen Ablagerungen im Reaktor ATR-5A .....	43
2.6.3 Zusammenfassung .....	49
<b>3 Bewertung und Methodik</b> .....	<b>51</b>
<b>4 Strömungsdynamische Simulationsrechnungen</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1 Strömungsdynamische Modellierung (CFD)</b> .....	<b>55</b>
4.1.1 Aufgabenanalyse .....	55

4.1.2	Turbulenzmodellierung .....	56
4.1.3	Monolith .....	58
4.1.4	Sprühbildmodellierung .....	59
<b>4.2</b>	<b>CFD Modell der Mischkammer des ATR-5 Reaktors .....</b>	<b>68</b>
4.2.1	Modelleinstellungen und physikalische Randbedingungen .....	68
4.2.2	Temperaturprofil .....	71
4.2.3	Gemischqualität .....	74
4.2.4	Einfluss der Luftaufteilung .....	75
4.2.5	Übergang zu den thermodynamischen Eigenschaften von realem Diesel .....	77
4.2.6	Temperaturprofil der Düse .....	82
4.2.7	Leistungsoptimierte Variante des Reformers der fünften Generation (ATR-5B) .....	84
4.2.8	Strömungsverhältnisse unter Berücksichtigung möglicher Ungenauigkeiten bei der Herstellung und Montage .....	87
<b>4.3</b>	<b>Entwicklung einer neuen Form der Mischkammer (ATR-7 und 8) .....</b>	<b>89</b>
4.3.1	Analyse der Eigenschaften der Mischkammer des ATR-5 .....	89
4.3.2	Konzept einer neuen Mischkammer (ATR-7) .....	95
4.3.3	Zyklonförmige Mischkammerkonstruktion (ATR-8) .....	99
<b>4.4</b>	<b>CFD Modell der Mischkammer des ATR-7 Reaktors .....</b>	<b>106</b>
4.4.1	Symmetrisches Modell .....	107
4.4.2	Temperaturprofil der Kraftstoffdüse .....	109
4.4.3	Dampfeindüsung .....	112
4.4.4	Luftzuführung .....	114
4.4.5	Strömungsmodell der kompletten 3D Geometrie .....	116
<b>4.5</b>	<b>CFD Modell der Mischkammer des ATR-8 Reaktors .....</b>	<b>118</b>
<b>5</b>	<b>Experimentelle Verifikation der Simulationen mittels Visualisierung der Strömung in Modellreaktoren .....</b>	<b>123</b>
<b>5.1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>123</b>
<b>5.2</b>	<b>Visualisierungsmethoden .....</b>	<b>123</b>
5.2.1	Visualisierung des Temperaturprofils mit Hilfe einer Thermokamera ..	123
5.2.2	Visualisierung des Sprühbilds .....	124
5.2.3	Visualisierung des Temperaturprofils und des Sprühbilds mit der Schattenbildmethode .....	125
5.2.4	Visualisierung mit gefärbten Flüssigkeiten .....	128

---

<b>5.3</b>	<b>Sprühbilduntersuchungen der Zwei- und Einstoffdüse.....</b>	<b>130</b>
5.3.1	Zweistoffdüse .....	131
5.3.2	Einstoffdüse.....	133
<b>5.4</b>	<b>Reformermodelle aus Quarzglas.....</b>	<b>135</b>
5.4.1	Strömungsvisualisierung mit der Thermokamera.....	135
5.4.2	Untersuchungen beim Betrieb mit realen Temperaturen und Massenströmen.....	136
5.4.3	Strömungsvisualisierung mit gefärbten Flüssigkeiten.....	142
<b>5.5</b>	<b>Digitale Auswertung der Experimente .....</b>	<b>148</b>
5.5.1	Analyse der Rückströmungen in ATR-7 und ATR-8.....	150
5.5.2	Dynamisches Verhalten der Reaktoren .....	152
<b>5.6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>159</b>
<b>6</b>	<b>Reformerentwicklung und –test .....</b>	<b>161</b>
<b>6.1</b>	<b>Konstruktion.....</b>	<b>161</b>
6.1.1	ATR-5B.....	161
6.1.2	ATR-7.....	162
6.1.3	ATR-8.....	164
<b>6.2</b>	<b>Betriebstests .....</b>	<b>166</b>
6.2.1	ATR-5B.....	166
6.2.2	ATR-7.....	167
6.2.3	ATR-8.....	168
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>171</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>177</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>I</b>
9.1	Stoffdaten von n-Tetradekan .....	I
9.2	Adiabate Temperaturen der möglichen Modellreaktionen der Kalten Flamme.....	II
9.3	Modellbilanz der Rußbildung.....	V
9.4	Konstruktionsaufbau der Zweistoffdüse .....	X
9.5	Farbanalyse der Experimente mit Methyleneblau.....	XI